

## 石钢 GCr15SiMn 轴承钢的开发

黄永建<sup>1,2</sup> 刘才<sup>1</sup> 李会林<sup>2</sup>

(1 燕山大学机械工程学院, 秦皇岛 066004; 2 石家庄钢铁公司安全清洁生产部, 石家庄 050031)

**摘要** 石钢通过 60 t 电弧炉-LF(VD) 精炼-300 mm × 360 mm 矩坯连铸-连轧工艺生产 Φ90 mm、Φ100 mm、Φ105 mm 轴承钢 GCr15SiMn( % : 1.00C、0.5Si、1.0Mn、1.45Cr、0.02Al)。通过电弧炉无渣出钢、LF 精炼渣碱度 ≥ 3.5, VD 处理和全程保护浇铸, 低拉速(0.40 ~ 0.55 m/min), 弱二冷(0.18 ~ 0.25 L/kg), 电磁搅拌等工艺措施, 使 [O] ≤ 8 × 10<sup>-6</sup>, 钢中非金属夹杂物总级别 2.5 ~ 3.0 级, 无发纹, 疏松和偏析 ≤ 1.0 级, 碳化物不均匀性均满足标准要求。

**关键词** 电弧炉 LF(VD) GCr15SiMn 轴承钢

## Pilot Production of Bearing Steel GCr15SiMn at Shijiazhuang Steel

Huang Yongjian<sup>1,2</sup>, Liu Cai<sup>1</sup> and Li Huilin<sup>2</sup>

(1 College of Mechanical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004;  
2 Dept of Security and Cleanness Production, Shijiazhuang Iron and Steel Co Ltd, Shijiazhuang 050031)

**Abstract** Φ90 mm, Φ100 mm and Φ105 mm products of bearing steel GCr15SiMn ( % : 1.00C, 0.5Si, 1.0Mn, 1.45Cr, 0.02Al) have been developed by 60 t EAF-LF (VD) - 300 mm × 360 mm bloom casting-continuous rolling process at Shijiazhuang Steel. With EAF eccentric bottom taping, controlling LF refining slag basicity ≥ 3.5, VD treating, completely shielded and low speed casting (0.40 ~ 0.55 m/min), weak secondary cooling (0.18 ~ 0.25 L/kg) and electromagnetic stirring etc. process measures, the [O] was ≤ 8 × 10<sup>-6</sup>, the total rating of inclusions in steel was ≤ 2.5 ~ 3.0 with free flake, the rating of porosity and segregation ≤ 1.0, and the non-homogeneity of carbide met requirement of standard.

**Material Index** Arc furnace, LF (VD), Bearing Steel GCr15SiMn

GCr15SiMn 钢要求超低氧、高纯净度、耐磨、疲劳寿命高, 低倍、高倍、带状、液析要求严格<sup>[1]</sup>。由于 GCr15SiMn 轴承钢较 GCr15 轴承钢 Si 和 Mn 含量更高, 更容易引起铸坯成分偏析<sup>[2,3]</sup>, 因此在冶炼过程中要采取有效措施控制偏析。

### 1 冶炼工艺及主要设备技术参数

GCr15SiMn 轴承钢工艺流程: 60 t 电弧炉冶炼 → LF → VD → 300 mm × 360 mm 矩坯连铸 → 连轧线轧制 → 缓冷。

#### 1.1 电弧炉冶炼工艺

60 t EBT 高阻抗电弧炉, 炉壳直径 4 800 mm, 变压器功率 32.5 MVA。冶炼时兑入铁水比例 60%, 采用熔氧结合, 加强前期的脱磷工作; 终点高拉碳 [C] ≥ 0.20%、终点 [P] ≤ 0.015%、出钢温度 ≥ 1 620 °C, 出钢过程加入合金达到工艺标准要求的下限、钢心铝 2 ~ 3 kg/t; 采用全部留渣, 部分留钢操作, 其中留钢量为 10 ~ 15 t, 为了降低钢中初始氧含量, 出钢过程全程吹氩并加入渣料。生产的 3 炉钢终点 [C] 为 0.27% ~ 0.61%; 终点 [P] 0.004% ~ 0.006%; 终点温度 1 660 ~ 1 669 °C。

#### 1.2 LF/VD 工艺

钢包到精炼工位后, 接通氩气, 通电化渣采用 SiC 扩散脱氧造白渣, 升温速度为 3 ~ 5 °C/min, 当终点 [S] ≤ 0.010%、精炼时间 ≥ 50 min, 白渣时间 ≥ 25 min 后, 将钢包运送到 VD 站, 在真空度达到 67 Pa 时, 调节好供氩强度, 67 Pa 以下保持 8 ~ 20 min, 完成真空精炼后, 进行取样, 弱搅拌 23 min 后, 温度 1 535 ~ 1 555 °C 吊包连铸。

精炼渣系组成见表 1, 精炼脱硫率达到了 80% 左右, 钢中的 S 含量基本控制在 0.007% 以下。3 炉钢实际白渣时间为 61 ~ 100 min。

在 VD 结束以后进行吹氩弱搅拌以保证夹杂物的最终上浮是非常必要的, 软吹时间要大于 20 min<sup>[4-6]</sup>。3 炉钢实际软吹时间 23 ~ 36 min。

在连铸浇铸过程中要加强以下几方面的控制:

(1) 为了保证钢中氧含量 ≤ 10 × 10<sup>-6</sup>, 连铸过程采用无氧化浇铸<sup>[7]</sup>; 钢包至中间包使用长水口,

表 1 LF 精炼渣系成分和碱度  
Table 1 Ingredient and basicity of LF refining slag

成分/%				碱度(R)
CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ΣFe	
50 ~ 60	13 ~ 18	15 ~ 20	≤ 1.0	≥ 3.5

中间包至结晶器采用浸入式水口,水口连接处充氩密封,防止钢水二次污染。

(2)石钢通过实践将过热度控制在 23 ~ 30 ℃,可以达到理想的效果,连铸中间包温度和拉速控制见表 2。

表 2 连铸中间包钢水温度和拉速

Table 2 Temperature of liquid steel in tundish and casting speed

炉号	中间包钢水温度/℃			拉速/(m·min <sup>-1</sup> )		
	前期	中期	后期	1流	2流	3流
8602020	1 513	1 516	1 517	0.34	0.37	0.39
8602021	1 492	1 487	1 485	0.40	0.45	0.45
8602022	1 485	1 488	1 482	0.45	0.45	0.45
控制要求	1 468 ~ 1 488			0.40 ~ 0.55		

(3)为了最大限度地减轻铸坯的偏析,连铸采用低拉速(0.40 ~ 0.55 m/min)、弱冷工艺(0.18 ~ 0.25 L/kg)并且加强电磁搅拌控制(M-EMS控制在 220 A,2.2 Hz;F-EMS控制在 450 A,8 Hz)。

(4)为了提高连铸坯质量,连铸坯要进行堆冷(或缓冷),堆冷时间要大于 36 h。

## 2 生产结果与分析

由表 3 可以看出,此次冶炼成品成分中的 C、酸溶铝(Als)控制稍高,其它几个元素控制较好,与目标值十分接近,P、S 控制很低,钢材的氧含量 ≤ 0.000 8%,均满足控制计划的控制要求。

Φ90 mm、Φ100 mm 和 Φ105 mm 钢材的低倍组织为一般疏松 0.5 级,中心疏松 1.0 级,偏析 1.0

表 3 GCr15SiMn 轴承钢的化学成分/%

Table 3 Chemical composition of bearing steel GCr15SiMn /%

项目	C	Si	Mn	Cr	P	S	O	Als
用户要求	0.95 ~ 1.05	0.45 ~ 0.75	0.95 ~ 1.25	1.40 ~ 1.65	≤0.025	≤0.025	≤0.001 2	
内控范围	0.95 ~ 0.98	0.50 ~ 0.54	0.98 ~ 1.02	1.43 ~ 1.47	≤0.020	≤0.010	≤0.001 2	0.01 ~ 0.030
目标值	0.96	0.52	1.00	1.45	≤0.020	≤0.007	≤0.001 0	0.015
8602020	0.96	0.53	1.02	1.48	0.008	0.002	0.000 8	0.021
8602021	0.98	0.50	1.01	1.46	0.011	0.001	0.000 6	0.021
8602022	0.99	0.52	1.01	1.45	0.008	0.002	0.000 5	0.022

表 4 钢材非金属夹杂物和碳化物不均匀性/级

Table 4 Non-metallic inclusion and non-homogeneity of carbide in products /rating

炉号	夹杂物						碳化物			
	A <sub>粗</sub>	A <sub>细</sub>	B <sub>粗</sub>	B <sub>细</sub>	C <sub>粗</sub>	C <sub>细</sub>	D <sub>粗</sub>	D <sub>细</sub>	带状	液析
8602020	0	1.0	0	1.0	0	0	0	1.0	1.0	0
8602021	0	1.0	0	0.5	0	0	0	1.0	1.5	0
8602022	0	1.0	0	0.5	0	0	0	1.0	1.5	0
用户要求	≤1.5	≤2.5	≤1.0	≤2.0	≤0.5	≤0.5	≤1.0	≤1.0	≤3.5	≤2.5

级。钢材低倍组织满足用户的要求。

由表 4 可见,夹杂物级别和碳化物不均匀性满足用户要求;钢材的碳化物带状组织 1.0 ~ 1.5 级,碳化物液析 0 级。

## 3 结语

(1)通过 60 t 电弧炉-LF(VD)精炼-300 mm × 360 mm 矩坯连铸-连轧工艺生产 GCr15SiMn 轴承钢(%:1.00C、0.5Si、1.0Mn、1.45Cr、0.02Al),钢中的气体含量、非金属夹杂物总级别、低倍组织、发纹、碳化物偏析均满足标准要求,可以进行批量生产。

(2)连铸拉速为 0.40 ~ 0.55 m/min、弱冷工艺为 0.18 ~ 0.25 L/kg,并且加强电磁搅拌控制可以减轻铸坯的偏析。

(3)连铸中间包过热度控制在 23 ~ 30 ℃,可以有效控制钢的低倍质量和减少缩孔。

## 参考文献

- 王文明. 新型高淬透性轴承钢 GCr15SiMo 的应用. 轴承, 1999 (2):12
- 周德光,傅杰,王平,等. 高质量轴承钢的生产技术. 中国冶金, 2000(6):14
- 郝旭明,刘玉敏. GCr15SiMn 钢制成型滚轮的热处理. 轴承, 2003 (8):14
- 刘跃,吴伟,刘浏,等. 100 t 转炉-LF(VD)工艺冶炼轴承钢的含氧量控制. 特殊钢, 2005, 26(6):47
- 刘浏,曾加庆. 纯净钢及其生产工艺的发展. 钢铁, 2003, 35 (3):68
- 徐明华,虞明全,郭永铭. 轴承钢精炼与浇铸技术发展概况. 特殊钢, 1999, 20(6):1
- 周德光,傅杰,王平,等. 超纯轴承钢的生产工艺及质量进展. 钢铁, 2000, 35(12):19

黄永建(1971-),男,博士研究生,高级工程师,北京科技大学毕业,冶金工艺及金属材料研究。

收稿日期:2009-01-06